Desenvolvimento de um novo modelo de bloco de concreto– O "bloco acústico". Uma solução para o isolamento acústico segundo exigências da ABNT NBR 15575

1. INTRODUÇÃO

O sistema construtivo em alvenaria estrutural é um dos mais utilizados em estruturas e vedações de edificações habitacionais no país (TANIGUTI, 2013). Devido a: suas restrições com relação a dimensões dos vãos e, consequentemente dos cômodos, restrições com relação a versatilidade de formas e agilidade e custos inferiores em relação a estruturas convencionais de concreto armado; esse sistema também é um dos mais adotados em construções de padrão médio e econômico.

Com a entrada em vigor em julho de 2013 do conjunto normativo da ABNT NBR 15575 "Edificações Habitacionais – Desempenho", o qual buscou traduzir requisitos qualitativos dos usuários das habitações em critérios quantitativos para avaliação do comportamento em uso dos sistemas que a compõe, novas exigências foram introduzidas aos sistemas construtivos das edificações, entre elas, o desempenho acústico.

O desempenho acústico dos sistemas construtivos é talvez um dos mais sensíveis para os usuários. Além de influir na qualidade de vida do morador (FREITAS, 2005) e no seu convívio com seus vizinhos, questões relacionadas a ruídos são uma das principais queixas que as construtoras recebem.

No caso do desempenho acústico de vedações em alvenaria estrutural, que se enquadram na parte 4 da NBR 15.575: "Requisitos para os sistemas de vedações verticais internas e externas", existem dois desafiosdentro desse contexto: atenderao critério de desempenho acústico exigido pela norma; e fazer isso com uma solução viável economicamente para empreendimentos de padrão médio e econômico.

O bloco é um agente fundamental para superação desses desafios por ser um dos principais componentes dos sistemas de vedações verticais em alvenaria, tanto com relação a custo e qualidade, quanto com relação ao desempenho atingido pelo sistema. O bloco de concreto, especificamente, é o mais utilizado em alvenarias estruturais (TANIGUTI, 2013) e suas características e propriedades são estabelecidas pela norma brasileira ABNT NBR 6136:2014 - "Blocos vazados de concreto simples para alvenaria - Requisitos". Esta norma "de produto" especifica características, tais como: formatos, espessuras, precisão dimensional, classes de resistência à compressão, absorção e retração na secagem; algumas das quais são determinantes para o desempenho acústico das vedações.

Os critérios de desempenho acústico para vedações verticais especificados na parte 4 da NBR 15575 estabelecem valores mínimos de atenuação acústica horizontal dos ruídos aéreos entre cômodos de unidades autônomas e entre áreas privativas e áreas comuns nas edificações multifamiliares. O critério mais exigente define um valor mínimo, medido em campo, de 45dB de isolamento de ruído aéreo horizontal entre dormitórios de unidades diferentes separados por uma parede e entre dormitórios e outros cômodos não pertencentes à unidade. Condição que, em se tratando de blocos de concreto estruturais de espessura de 14cm, é muito difícil de ser atendida e, quando é, os valores estão muito próximos do valor mínimo estabelecido pela norma. Dado o ambiente dinâmico da obra e sujeito a interferências, essa solução dá pouca margem de segurança para a construtora e necessita ser melhorada.

Algumas ações foram desenvolvidas pelo mercado nesse sentido, como o uso de revestimentos especiais ou aumento de espessuras de revestimentos, uso de produtos variados para enchimento dos furos dos blocos, blocos com diferentes geometrias. Contudo, tais soluções não foram adotadas e algumas das justificativas são:a alteração significativa que impõe à técnica de produção;perdas de produtividade; redução das áreas

de apartamentos; impactos nos cronogramas de obras; custos impraticáveis;inadequação a normas “de produto”; entre outros.
Dada a demanda por atendimento ao desempenho acústico das paredes, a necessidade de se ter uma solução técnica e economicamente viável para empreendimentos residenciais em alvenaria estrutural, a representatividade do bloco frente ao desempenho, qualidade e custo das alvenarias, iniciou-se um estudo sobre a introdução de certas características nos blocos de concreto estruturais de 14cm de espessura para que as vedações verticais (produzidas com uso destes blocos) fossem capazes de atender ao desempenho acústico estipulado na NBR 15575-4 e com “margem de segurança” frente a possíveis desvios de obra que podem fazer o isolamento diminuir.

2. OBJETIVOS

Através da união entre uma construtora, um fabricante de blocos de concreto e uma consultoria especializada, a proposta foi de desenvolver uma família de blocos estruturais a partir do modelo 14cm x 19cm x 39cm com características de isolamento acústico capazes de compor vedações verticais que atendam aos requisitos de desempenho acústico da NBR 15575-4.

Figura 1: Bloco acústico

As premissas iniciais para desenvolvimento da família de blocos foram:

- O produto deveria seguir a “norma de produto” NBR 6136:2014, permitindo comercialização imediata;
- O produto deveria ter resistência que assegurasse seu uso tanto em paredes de vedação quanto estruturais;
- O custo do produto:a solução deveria mostrar-se competitiva com as demais soluções existentes no mercado;
- Impacto no projeto e no cronograma da obra:não impactar em aumento nas espessuras de paredes nem agregar etapas na produção que impusessem dilatações no cronograma;
- Impacto no processo produtivo do fabricante de blocos: não deveria exigir mudanças expressivas na linha de produção, mantendo a produtividade da fábrica;
- Processo construtivo: não deveria impactar na produtividade,gerar mudanças expressivas na tecnologia construtiva atual ou impactos logísticos significativos;
- Identificação: o produto deveria possuir alguma marca ou coloração de fácil identificação no ambiente de produção e de obra.

Com base nestas premissas e após mais de dois anos de pesquisas e intenso desenvolvimento tecnológico, foi desenvolvida uma família de blocos especiais baseadas em um bloco denominado de “Bloco Acústico” (Figura 1).

3. DESENVOLVIMENTO DO TRABALHO

Os estudos para desenvolvimento da família de blocos foram iniciados em julho de 2016 em uma obra da construtora com sistema construtivo em alvenaria estrutural nas quais foram utilizados os blocos estruturais convencionais de concreto do fornecedor. A partir de então, uma série de etapas e análises se sucederam, as quais estão descritas nos itens a seguir.

3.1. A união defornecedor, construtora e consultoria

Estudos têm apontado a importância da integração entre agentes e a formação de parcerias com fornecedores para melhoria da eficiência na construção e ganho de

competitividade (Mckinsey Global Institute, 2017).É preciso incentivar a troca de informações, compartilhamento de melhores práticas e formação de parcerias de Pesquisa e Desenvolvimento para fomentar uma cultura de cooperação na construção a fim de se encontrar as melhores soluções para os desafios enfrentados.
Alinhado com essa tendência e, dado o histórico positivo de relacionamento entre as empresas,uma parceria entre a construtora, o fornecedor de blocos de concreto e uma empresa de consultoria foi estabelecida para solucionar um desafio de relevância nacional. Foram envolvidos: a área de pesquisa e de obra da construtora, a área de produção e comercial do fornecedor de bloco euma empresa de consultoria técnica.

3.2. A hipótese para desenvolvimento do bloco

O conceito de desenvolvimento do bloco acústico surgiu da hipótese levantada a partir ensaios realizados em uma obra em alvenaria estrutural feita pela construtora com blocos de concreto da família de 14cm do fornecedor em questão.
Em edifícios de alvenaria estrutural, a resistência dos blocos (e por consequência a resistência das paredes) varia de pavimento para pavimento, dado que os pavimentos inferiores recebem mais carga vertical que os superiores. Em um programa exploratório realizado pela construtora, foram realizados ensaios em uma mesma tipologia de cômodo, unidade e com o mesmo revestimento em pavimentos diferentes, variando-se a resistência e, por consequência, a massa dos blocos. Notou-se uma tendência de blocos com resistência maior (e massa maior) terem desempenho acústico superior, resultado alinhado com a teoria de que, para certas faixas de frequência, o aumento do isolamento acústico ocorre proporcional ao aumento de massa (TUBI, 1993).
Foi então que, surgiu a ideia de desenvolver um bloco de massa superior capaz de elevar o isolamento acústico das paredes a níveis superiores a 45 dB (impostos pela ABNT NBR 15575), com uma certa margem de segurança que pudesse “acomodar desvios inerentes de falhas da mão de obra”.

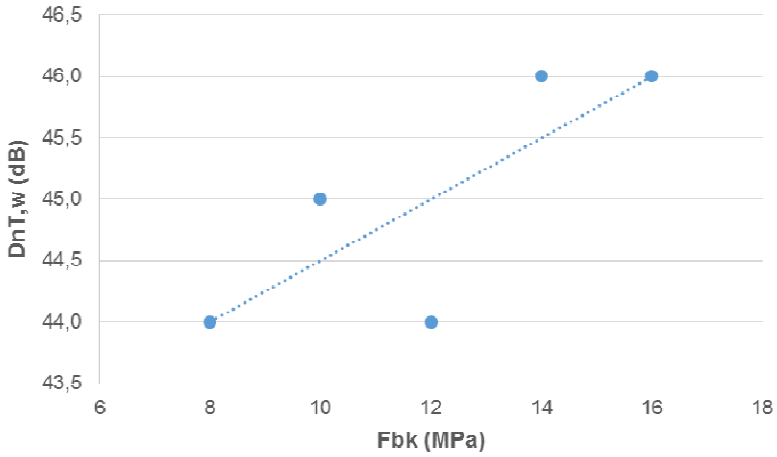


Figura 2: Gr **do bloco**
(ensaios realizados pelos autores).

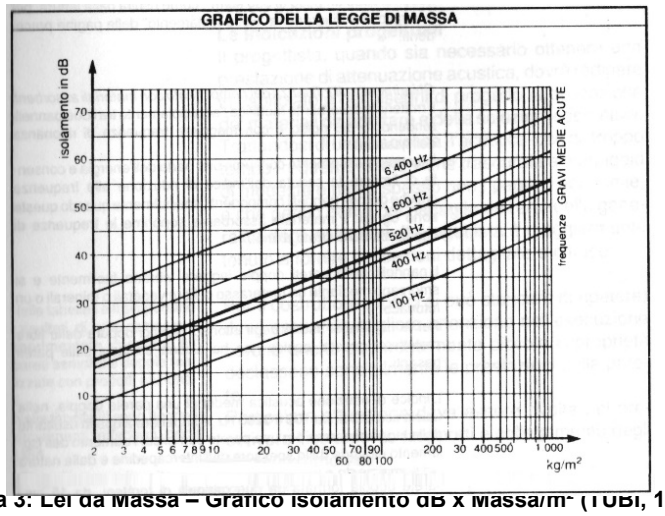


Figura 3: Lei da Massa – Gráfico isolamento dB x Massa/m² (TUBI, 1993)

3.3. O desenvolvimento da "família de blocos acústicos"

Muitas ideias foram avaliadas, tais como: blocos com paredes extras, blocos com furos mínimos, blocos de dimensões diferentes. Porém muitas delas impactavam demais nas premissas previamente definidas. Por exemplo:

- A colocação de uma parede extra reduz muito o tamanho dos vazados e interfere no caso de uso de graute ou de passagem de conduítes;
- Blocos com espessura de parede maiores exigem mudanças na linha de produção fabril, alterando muito o ciclo de produção com impactos diretos nos custos do produto.

Chegou-se à conclusão de que a melhor solução seria investir no desenvolvimento de um bloco de geometria idêntica à já utilizada em blocos estruturais "de linha" porém com modificações na "massa" e com a inclusão de aditivos especiais. Com isso nenhum parâmetro de projeto e execução necessitaria ser modificado e o produto seria facilmente introduzido no mercado.

Uma parede não se faz apenas com um tipo de bloco. São necessários diversos modelos (frações do bloco inteiro) a fim de se conseguir os ajustes modulares ideais para cada vão. Dessa forma, foi necessário verificar quais são as tipologias e frações mais utilizadas. Para isso, foi realizado um extenso levantamento em projetos estruturais e identificou-se que as peças mais utilizadas são os "blocos inteiros", os "meios-blocos" e "blocos de amarração L de 34cm" (Figura 4).

Para diferenciar os blocos acústicos dos demais, evitando o uso indevido em obra e facilitando a conferência do uso nas paredes em que o desempenho acústico é necessário, optou-se pela utilização de concreto aditivado com pigmento nos blocos.

Então, foi desenvolvida uma linha de blocos acústicos com as mesmas características de fabricação: traço, aditivação, parâmetros de compactação, regulagens de tempos de fabricação e dosagens de pigmentação.

Figura 4: Definição da "família de blocos"

3.4. Ajustes nalinha produção dos blocos

O aumento de massa do bloco foi possível com a adoção de novos parâmetros de compactação e regulagens especiais nas vibro-prensas de alta capacidade. Buscou-se utilizar a máxima compactação admissível pelo equipamento, cuidando para não exigir demais do mesmo e aumentar custos com produção.

Para a pigmentação, foi utilizado uma quantidade mínima necessária para modificação da tonalidade acinzentada padrão dos blocos de concreto, resultando em um bloco com tonalidade vermelho rosado, que possibilita sua identificação tanto na execução, como após a alvenaria executada

Figura 5: Ajustes na produção: a) testes de prensagem e compactação, b) testes de massa e precisão dimensional, c) testes de pigmentação e cura

3.5. Definição do programa de ensaios

Para a caracterização normativa do bloco, definiu-se que seriam necessários os seguintes ensaios:

- Ensaios de caracterização do bloco conforme NBR 6136.

Para a caracterização acústica do bloco, definiu-se que seriam necessários os seguintes ensaios:

- Determinação do índice de redução sonora em laboratório - R_w(referências: ISO 10140-2 e ISO 717-1);
- Determinação da diferença padronizada de nível ponderada em campo– $D_{nT,w}$ (referências: ISO 16283-1 e ISO 717-1).

3.5.1 Caracterização do bloco

Valores médios das características do bloco conforme NBR 6136:2014 realizado pelo IPT.

Tabela 1: Caracterização do bloco

	Dimensões em mm				
Valores médios	Largura	Altura	Comprimento	Parede transversal	Parede Longitudinal
	141	**193**	**391**	**28**	**27**
Valores médios	fb médio (MPa)	Massa (kg)	Absorção de água (%)	Umidade relativa (%)	Área líquida (mm²)
	27,3	**14,2**	**4,6**	**73,3**	**31065,8**

3.5.2. Ensaio de laboratório (Rw)

Após o desenvolvimento completo do produto que até então vinha sendo produzido como protótipo (pequenas produções), foi realizada a produção de um grande lote em escala piloto (um lote maior, produzido nas condições normais de produção dentro da linha da empresa).

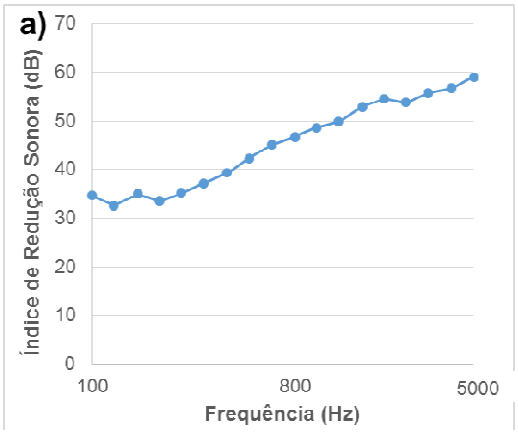
Com os blocos produzidos, foi realizado um ensaio de isolamento acústico no laboratório do IPT em São Paulo.

O ensaio, realizado com a parede na condição "crua", ou seja, **sem nenhum tipo de revestimento em nenhuma de suas faces**, resultou em um isolamento de Rw=46dB, que a princípio não seria suficiente dada a orientação da NBR 15575 de que ensaios de laboratório em geral têm uma perda de 5dB quando realizados em campo (por conta de fatores como: imprecisões de medidas, influência de ruídos externos, deficiências construtivas da própria parede, "fuga" de ruídos e "pontes acústicas" em portas e janelas).

Contudo, a curva de redução sonora pela frequência da parede ensaiada indicou a possibilidade do desempenho se repetir em campo (Tabela 2-a).

Tabela 2: Resultado do ensaio e: a) curva de redução sonora pela frequência; b) foto do ensaio

Elemento	Rw (dB)	Nível de Desempenho	Resultado (dB)
Parede entre unidades habitacionais autônomas (parede de geminação), no caso de pelo menos um dos ambientes ser dormitório.	50 a 54	M	46
	55 a 59	I	
	≥ 60	S	



3.6. Ensaio de campo (DnT,w)

Por se tratar de uma condição de "ensaio de campo", sujeito a variações na construção e no entorno, foram realizados 2 ensaios para uma mesma tipologia de parede. Os ensaios foram realizados no mesmo dia, pelo mesmo laboratório (IPT).

Tomou-se o cuidado deescolher as paredes entre dormitórios que possuíam a menor interferência de graute para avaliação do desempenho acústico (Tabela 3-b).Porém, por se tratar de um caso real, as paredes escolhidas possuem 3 caixinhas elétricas do tipo redondas, cada uma com raio de 5cm (área de 0,008cm²). Isso tende a piorar o resultado, pois é criada uma "ponte acústica" ao se cortar uma das faces do bloco para instalação da caixinha.

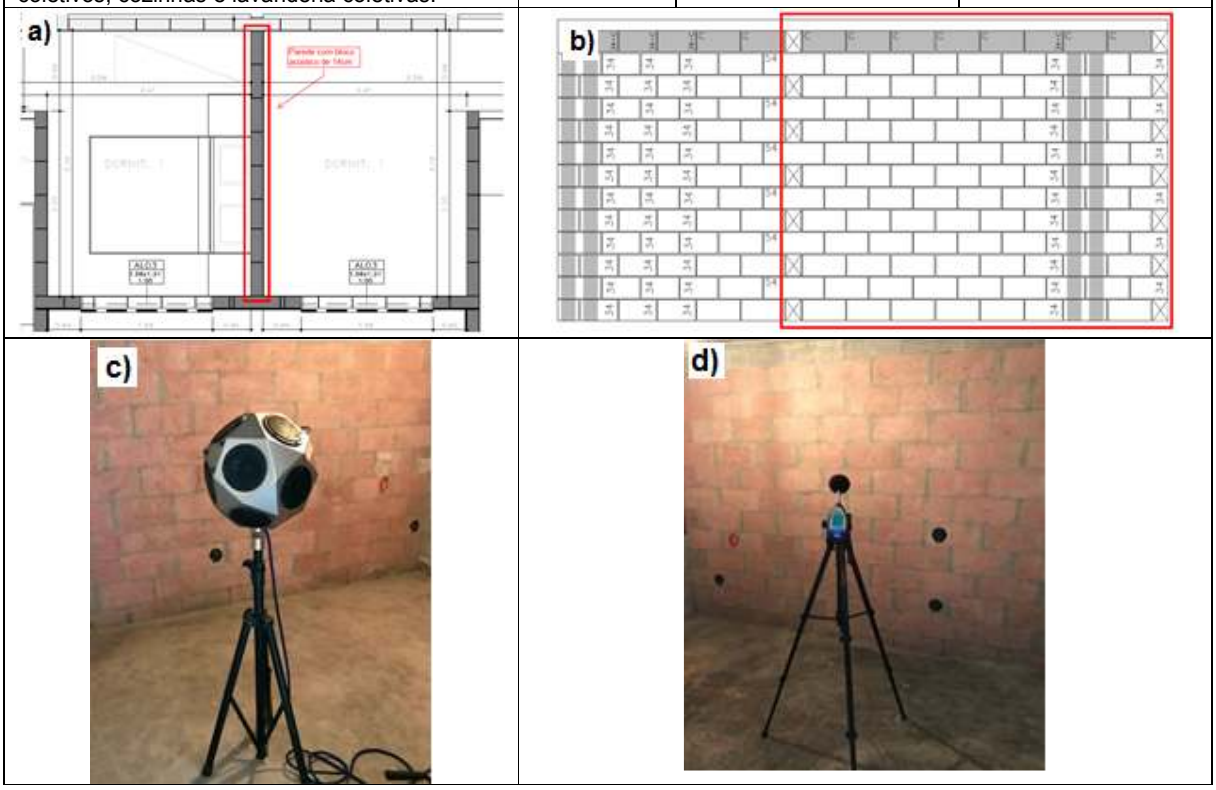
Como exemplo, cita-se o trabalho de Aquilino (2010) que revela que uma parede de 10m² com Rw=50dB tem seu isolamento reduzido para Rw=48dB após a instalação de uma caixinha elétrica de 10cm x 5cm (área de0,005m²).

Da mesma forma que no laboratório, asparedes foram ensaiadas na condição "crua" (sem nenhum tipo de revestimento em nenhuma das faces).

Os resultados de campo, com a configuração de 3 caixinhas elétricas sem tratamento acústico atingiram 45dB de isolamento, portanto, já atendem, mesmo sem revestimentos, ao nível mínimo da norma.
A expectativa é que com os revestimentosaplicados e com a instalação dos espelhos e tratamento das caixinhas o desempenho da parede atinja 47dB deixando uma "margem de segurança" para eventuais falhas de obra.

Tabela 3: Resultado do ensaio e: a) e b) indicação da parede ensaiada; c) e d) fotos da parede ensaiada

Elemento	DnT,w (dB)	Nível de Desempenho	Resultados (dB)
Parede cega entre uma unidade habitacional e áreas comuns de permanência de pessoas, atividades de lazer e atividades esportivas, como *home theater,* salas de ginástica, salão de festas, salão de jogos, banheiros e vestiários coletivos, cozinhas e lavanderia coletivas.	45 a 49	M	Ensaios: 1 e 2 45
	50 a 54	I	
	≥ 55	S	



3.7. Ensaio de aderência

Após o resultado obtido em laboratório e antes da escolha da obra piloto, houve uma ampla discussão sobre os impactos deste novo produto em outros serviços. Os blocos, apesar de serem produzidos "quase que da mesma forma" que os outros produtos da fábrica, possuem características diferentes e são pigmentados. Após várias rodadas de debates e testes preliminares, as principais questões se concentraram na capacidade de aderência dos revestimentos, na hipótese de algum tipo de migração do pigmento para os revestimentos, no potencial de eflorescência do produto quando percorrido por algum fluxo de água e sua migração para os revestimentos.
O programa de ensaios foi realizado em uma das obras da construtora. Foram executadas 4 paredes em um local coberto e arejado. Foram escolhidas as seguintes variáveis: tipo de bloco x condição de saturação x tipo de revestimento.
Tipo de bloco: duas paredes foram feitas com blocos acústico e duas com blocos "de linha".

Condição de saturação: Para análises dos efeitos de eflorescências e manchamentos, optou-se por escolher duas situações: a situação “seca” e a situação “molhada” onde a parede era exposta a dois ciclos diários de saturação e secagem (as paredes eram molhadas com mangueira por 30 minutos às 8h e às 16h).
Tipo de revestimento: em ambas as faces de cada uma das 4 paredes foram escolhidas 5 condições diferentes de revestimentos que englobam os principais tipos de revestimentos utilizados pela construtora e que também são representativos de grande parte do mercado.

1. Aplicação de argamassa industrializada tipo 1 (alta espessura) com chapisco (traço em volume 1 cimento : 3 areia, com adição de resina PVA);
2. Aplicação de argamassa industrializada tipo 2 (baixa espessura) direto sobre o bloco;
3. Aplicação de argamassa produzida em obra (traço em volume 1 cimento : 1 cal : 7 areia) com chapisco (traço em volume 1 cimento : 3 areia, com adição de resina PVA);
4. Aplicação de gesso desempenado direto sobre o bloco;
5. Aplicação de revestimento cerâmico com dupla colagem e argamassa ACIII direto sobre o bloco.

Para estas combinações de condições, definiu-se que seriam realizados ensaios para a determinação da resistência de aderência à tração (referências: NBR 13528 - Revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas - Determinação da resistência de aderência à tração e NBR 13754 - Revestimento de paredes internas com placas cerâmicas e com utilização de argamassa colante - Procedimento).
Os resultados dos ensaios de aderência feitos pelo laboratório Falcão Bauer com idade dos corpos de prova superiores a 28 dias são apresentados na tabela abaixo:

Tabela 4: Resultados de aderência (total: 480 ensaios)

tipo de bloco	condição	tipo de ensaio	ensaios (face anterior)	ensaios (face posterior)	média (MPa)	desvio padrão (MPa)	CV%
normal	seca	1	12	12	0,50	0,17	33%
		2	12	12	0,85	0,24	29%
		3	12	12	0,57	0,18	32%
		4	12	12	0,13	0,09	72%
		5	12	12	0,66	0,20	30%
	molhada	1	12	12	0,55	0,21	37%
		2	12	12	0,65	0,28	44%
		3	12	12	0,36	0,29	80%
		4	12	12	0,12	0,11	89%
		5	12	12	0,57	0,16	27%
acústico	seca	1	12	12	0,59	0,16	28%
		2	12	12	0,63	0,36	57%
		3	12	12	0,67	0,16	23%
		4	12	12	0,06	0,06	104%
		5	12	12	0,70	0,17	24%
	molhada	1	12	12	0,52	0,10	19%
		2	12	12	0,78	0,27	34%
		3	12	12	0,44	0,18	41%
		4	12	12	0,12	0,14	115%
		5	12	12	0,66	0,13	20%

Analisando-se os resultados, foi possível perceber que não houve tendência de variação da aderência dos revestimentos assentados sobre o bloco acústico em relação ao bloco convencional e nem dos blocos molhados previamente em relação aos não molhados. Todos os revestimentos com base cimentícia, em todas as condições, obtiveram valores acima do especificado pela NBR 13749.

3.8. Avaliação do projeto e da produção

De posse do resultado do ensaio em laboratório, foram elencadas algumas obras para que se pudesse testar em campo as propriedades acústicas.Seria necessário escolher uma obra que estivesse em fase de projeto para que o calculista validasse a família de blocos. Após uma fase de investigação sobre parâmetros como acréscimo de massa, geometria para passagem de graute, comprovação da capacidade resistente, houve a aprovação do engenheiro calculista. A obra escolhida foi um edifício residencial de 18 pavimentos, com sistema construtivo em alvenaria estrutural, localizado na cidade de São Paulo.

Após a execução de alguns pavimentos pelo empreiteiro de alvenaria contratado, os pedreiros e o encarregado foram questionados sobre mudanças em suas rotinas, produtividade e perdas. Apesar de ter maior massa, os pedreiros envolvidos não relataram nenhuma dificuldade extra na elevação das alvenarias em relação ao uso de blocos convencionais. A forma de assentamento dos blocos é a mesma que para as demais paredes, portanto o consumo de argamassa também se manteve, sem acréscimo de perdas.

Quanto à logística, a obra informou o empreiteiro, o sinaleiro e o operador da grua sobre as paredes em que os blocos seriam utilizados (Figura -a). Dessa forma, os pallets recebidos de blocos acústicos já eram locados no pavimento em regiões próximas às paredes de divisa entre unidades em que um dos cômodos fosse um dormitório, facilitando a execução. Além disso, por ter uma resistência superior aos demais blocos estruturais (Tabela 1), não é necessário um controle da variação de sua resistência ao longo dos pavimentos. Em todos eles é utilizado o mesmo bloco acústico.

Figura 6: a) Detalhe de projeto com indicação das paredes acústica; b) parede acústica executada; c) parede acústica em execução.

3.9. Considerações Ambientais

Há alguns anos a empresa fabricante iniciou o sistema de "logística reversa". A empresa disponibiliza recipientes para a coleta dos restos de blocos provenientes de cortes e quebras que retornam para empresa e são processados em uma usina dentro da fábrica. A massa reprocessada é reinserida no processo de fabricação de novos blocos como parte do agregado utilizado na massa dos blocos

Hoje estima-se que cerca de 0,9% (em massa) da produção seja composta de agregados reprocessados. Estudos na usina de processamento mostraram que, dada a baixa quantidade de uso (em cada pavimento, apenas algumas paredes são feitas com o bloco acústico), podem ser inseridos no "sistema de logística reversa" existente.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O objetivo principal do estudo foi alcançado. O uso da família de blocos acústicos desenvolvidos nas vedações verticais permite e realização de paredes que atendem aos requisitos de desempenho acústico determinados na ABNT NBR 15575.

Mais que isso, todas as premissas iniciais foram validadas. Ou seja, as características desta inovação, além de solucionar uma demanda para o mercado com um preço economicamente viável, também contribui com a racionalização no uso de recursos: ao dispensar o aumento de espessura de revestimentos ou preenchimento das paredes; não impactar em aumentos de etapas de obra com dilatação de cronogramas; não impactar nos outros serviços "agregados" como revestimentos; e prescindir de condições especiais de logística.

Além disso, a solução foi desenvolvida com capacidade resistente suficiente para ser utilizado tanto para alvenarias de vedação como estruturais. O produto também se insere, sem nenhuma ressalva, na "logística reversa" que a empresa já pratica atualmente.

A solução já faz parte do catálogo regular de produtos do fabricante. As premissas de "manutenção da geometria" e da "não alteração das técnicas de aplicação em obra", permitiram a especificação da família de blocos acústicos em várias obras que já estão utilizando a solução que têm demonstrado resultados compatíveis aos apresentados neste estudo.

Portanto, trata-se de uma inovação viável técnica e economicamente e que não traz impactos ambientais negativos nem de cunho produtivo.

5. Referências Bibliográficas

AQUILINO, Marcelo de Mello.**Desempenho acústico de paredes entre unidade e entre as unidades e áreas comuns**. In: Seminário SECOVI/SP – Desempenho acústico de edifícios. São Paulo. 2012. Secovi.

MACKINSEY GLOBAL INSTITUTE. **Reinventing Construction: a route to higher productivity**. 168p. 2017.

FREITAS, Ruskin. **O que é Conforto?** In: ENCONTRO NACIONAL DO CONFORTO NOAMBIENTE CONSTRUÍDO, VIII, 2005, Maceió – AL. Anais... Maceió: ANTAC, 2005. p. 726-735. CD ROM.

TANIGUTI, Eliana. **Pesquisa sobre sistemas construtivos: ênfase em parede de concreto**. São Paulo: Associação Brasileira de Cimento Portland, 2014. (Apresentação).

TUBI, Norberto.**La realizzacione di murature in laterizio**. Edizioni Laterconsult. 972 pg. Roma. 1993.